

Hubert Latała
Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Akademii Rolniczej w Krakowie

EFEKTYWNOŚĆ KONWERSJI PROMIENIOWANIA SŁONECZNEGO W KOLEKTORZE SŁONECZNYM W FUNKCJI PRĘDKOŚCI PRZEPŁYWU CZYNNIKA GRZEW CZEGO

Streszczenie

Efektom transformacji energii promieniowania słonecznego zachodzącej w płaskim kolektorze cieczowym jest przyrost temperatury czynnika przepływającego przez płytę adsorbera. Otrzymany strumień energii użytecznej zależy nie tylko od natężenia promieniowania słonecznego, rodzaju pokrycia i powierzchni adsorbera, ale również od jednostkowego natężenia przepływu czynnika grzewczego. Ilość przepływającego czynnika przez adsorber danego typu kolektora w głównym stopniu decyduje o ilości pochłoniętego ciepła co decyduje o sprawności kolektora. W przedstawionej pracy przeanalizowano wpływ prędkości czynnika przepływającego przez adsorber na wielkość strumienia energii użytecznej. W czasie prowadzonego eksperymentu sterowano wydatkiem pompy wymuszającej ruch czynnika i określano ilość uzyskanego ciepła. Następnie porównując to ciepło z dostępną energią promieniowania słonecznego wyliczono sprawność analizowanego wymiennika. Z uzyskanych i przeanalizowanych danych wynika, że zmiany prędkości czynnika przepływającego przez kolektor wpływają na efektywność konwersji promieniowania słonecznego oraz sprawność całego wymiennika.

Słowa kluczowe: kolektory słoneczne, promieniowanie słoneczne, ciepło użytkowe

Wstęp

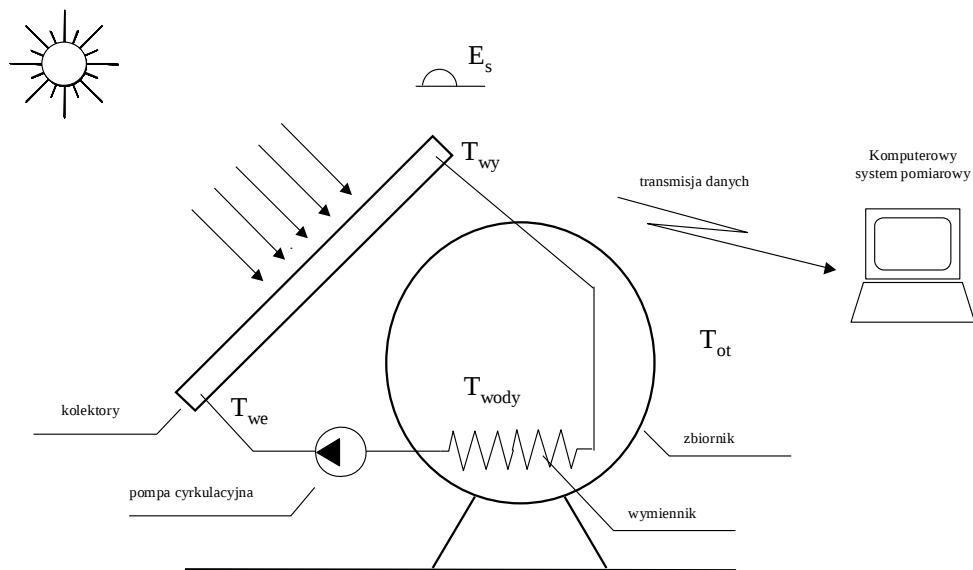
Ograniczenia postępującej degradacji środowiska naturalnego normowane przez wiele państw i organizacji międzynarodowych zobowiązują strony ratyfikujące te porozumienia do ograniczania emisji gazów cieplarnianych. Jednocześnie obligując te społeczeństwa do zwiększenia udziału energii odnawialnej w bilansie energetycznym kraju. Jednym z przykładów, w realizacji tych wytycznych, jest wykorzystanie energii promieniowania słonecznego [Pluta 2000]. Energię tą można pozyskać na kilka sposobów. Jednym z nich jest zastosowanie płaskich kolektorów cieczowych, które jako wymienniki ciepła transformują energię promieniowania słonecznego na ciepło. Efektem tej konwersji jest przerost entalpii medium

przepływającego przez kolektor. Medium to, zwane dalej czynnikiem grzewczym, jest nośnikiem ciepła przekazywanego do kolejnych elementów instalacji solarnej. Ilość ciepła uzyskanego w taki sposób związana jest z dostępnym promieniowaniem słonecznym, jak również z ilością czynnika, który przepływa przez kolektor [Kurpaska 2004; Sołowiej 2005].

Celem pracy była analiza wpływu prędkości czynnika przepływającego przez adsorber kolektora na wielkość strumienia energii użytecznej. W czasie prowadzonego eksperymentu sterowano wydatkiem pompy wymuszającej ruch czynnika i określano ilość uzyskanego ciepła.

Opis obiektu badań

Badania doświadczalne przeprowadzono w obiekcie badawczym, zlokalizowanym na terenie Wydziału Agrotechnologii Akademii Rolniczej w Krakowie. System konwersji promieniowania słonecznego stanowiły 4 płaskie kolektory cieczowe połączone ze zbiornikiem magazynującym ciepło przez umieszczoną w jego wnętrzu wężownicę (ryc. 1.). Łączna powierzchnia kolektorów absorbująca energię słoneczną wynosiła $7,1 \text{ m}^2$. Ustawione były pod kątem 45° do podłoża i skierowane płaszczyzną na południe.



Ryc. 1. Schemat ideowy systemu konwersji promieniowania słonecznego

Fig. 1. Schematic diagramme of solar energy conversion system

Czynna powierzchnia wymiany ciepła węzownicy wykonanej z miedzianej rurki wynosiła 1,38 m². Wnętrze układu absorber kolektora - węzownica wypełnione było płynem niezamarzającym - glikolem. Zainstalowana w tym układzie pompa cyrkulacyjna wymuszała ruch czynnika grzewczego w momencie, gdy jego temperatura była wyższa od temperatury wody w zbiorniku. Ciepło magazynowano w zbiorniku o pojemności 6 m³, który wypełniony był 3000 litrów wody.

Metodyka badań

Do realizacji postawionego celu wykonano pomiary następujących parametrów: natężenia promieniowania słonecznego (E_s), temperatury otoczenia (T_{ot}), temperatury czynnika grzewczego na wejściu (T_{we}) i wyjściu (T_{wy}) z kolektora, ilości czynnika grzewczego przepływającego przez kolektory (q_c), temperatury wody w zbiorniku (T_{wody}). Pomiary, wyżej wymienione wielkości, przeprowadzono w zmiennych warunkach solarnych dla prędkości czynnika grzewczego w zakresie od 0,017 do 0,068 kg/s. Całkowite promieniowanie słoneczne (E_s) padające na poziomą powierzchnię mierzono pyranometrem CM3 w zakresie długości fali promieniowania elektromagnetycznego od 0,2 do 2,8 μ m. Prędkość wiatru monitorowana była czasowym wiatromierzem o zakresie pomiarowym od 0 do 50 m/s. Ilość czynnika grzewczego przepływającego przez kolektory mierzono przepływomierzem turbinkowym przeznaczonym do pracy w podwyższonej temperaturze. Do pomiaru temperatury użyto półprzewodnikowych przetworników typu LM 235. Analogowe sygnały pomiarowe, z wymienionych powyżej punktów pomiarowych, były zamieniane w przetworniku analogowo-cyfrowym na sygnał cyfrowy. Przetworzony, z rozdzielczością 12 bitów, sygnał przesyłany był do komputera. Zainstalowany program umożliwiał wizualizację i archiwizację wielkości mierzonych. Dane zapisywane były w przedziałach 30 sekundowych.

Na podstawie zgromadzonych danych wyliczono sumę energii promieniowania słonecznego i ciepło użyteczne z kolektorów. Przy czym jako podstawę czasu trwania konwersji energii promieniowania słonecznego na ciepło przyjęto okres, w którym pracowała pompa cyrkulacyjna.

Ciepło użyteczne z kolektorów (Q_u) wyliczono według zależności:

$$Q_u = m \cdot c_p \cdot (T_{wy} - T_{we}) \quad (1)$$

gdzie:

- m – jednostkowe natężenie przepływu czynnika grzewczego, kg/s,
- T_{wy}, T_{we} – temperatury czynnika grzewczego na wyjściu i wejściu z kolektora, K,
- c_p – ciepło właściwe czynnika, MJ/kg · K.

Na podstawie otrzymanych wyników wyliczono ilość ciepła dostępnego z promieniowania słonecznego, którą następnie porównano z ciepłem zaabsorbowanym przez kolektory obliczając ich sprawność (η):

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_s} \quad (2)$$

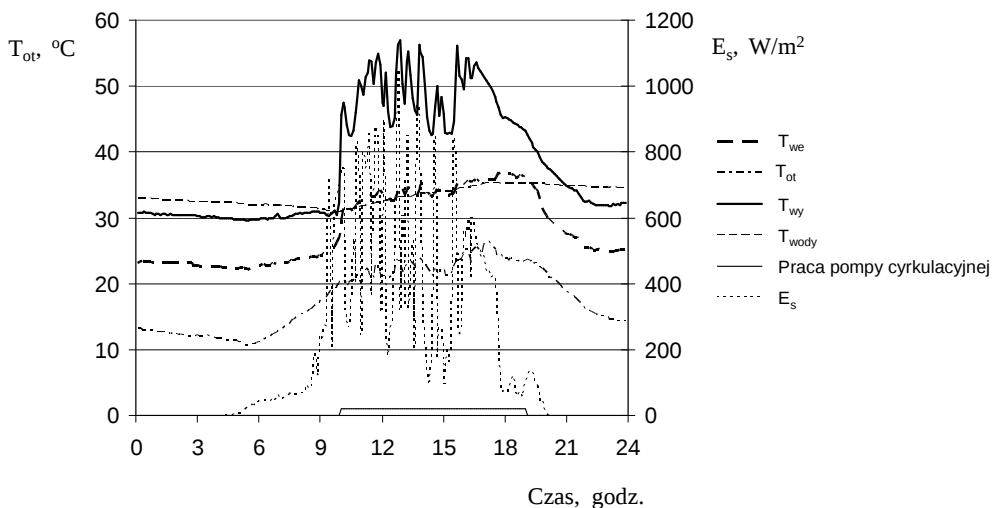
gdzie:

Q_s – ciepło dostępne z promieniowania słonecznego, MJ.

Obliczeń sprawności kolektorów wykonano dla zmieniającego się natężenia przepływu czynnika grzewczego w zakresie od 0,017 do 0,068 kg/s.

Wyniki i dyskusja

Na rycinie 2 przedstawiono przykładowe wielkości mierzonych parametrów w cyklu jednej doby. Całkowite promieniowanie słoneczne w prezentowanym przykładzie ulegało dużym wahaniom ze względu na zmienne zachmurzenie. Wpływało to na zmiany temperatury czynnika grzewczego na wejściu do zbiornika magazynującego ciepło. Moment włączenia pompy cyrkulacyjnej dość wyraźnie oddziaływał na zmiany temperatury czynnika grzewczego na wejściu i wyjściu z kolektorów, natomiast po jej wyłączeniu temperatura czynnika powoli obniżała się.



Ryc. 2. Przykładowe wielkości mierzonych parametrów w cyklu jednej doby

Fig. 2. Examples of the parameters values measured during 24 hours

W ramach wykonywanego eksperymentu obliczono wartości dziennej sumy energii promieniowania słonecznego, które zawierały się w zależności od stopnia zachmurzenia w zakresie od 60,3 do 124,9 MJ. Energię dostępną z promieniowania słonecznego obliczano dla przedziałów czasowych, w których pracowały kolektory słoneczne (włączona pompa cyrkulacyjna). Ciepło użyteczne kolektorów określono na podstawie zależności (1) uwzględniając chwilowe zmiany temperatury czynnika grzewczego i jego ilość przepływającą przez absorber. Prędkość tego czynnika zmieniano w zakresie od 0,017 do 0,068 kg/s.

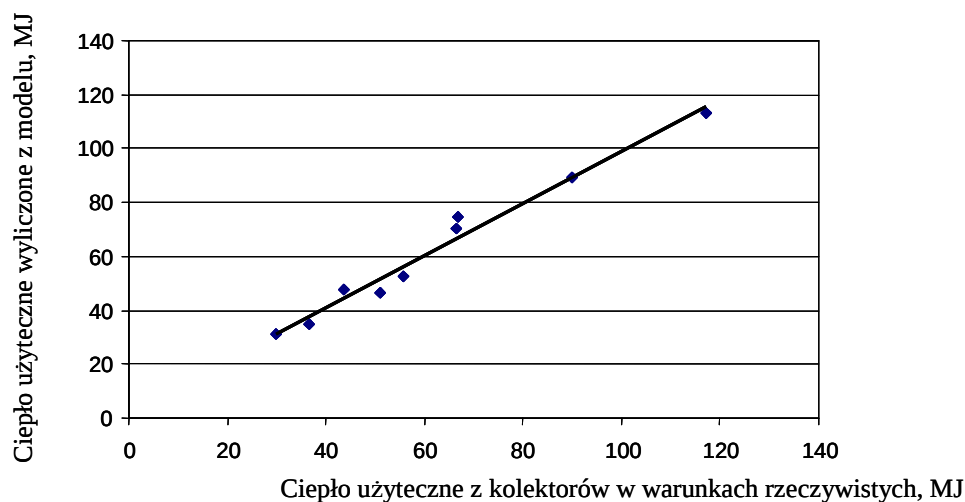
Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. Spośród badanych zależności, największą wartość współczynnika determinacji uzyskano dla modelu regresji liniowej dla zależności określającej zmianę ilości ciepła użytecznego z kolektorów w funkcji ciepła dostępnego z promieniowania słonecznego, jednostkowego natężenia przepływu czynnika grzewczego i temperatury powietrza otaczającego. Funkcja ta (określona estymacją nieliniową metodą quasi-Newtona przy zachowanym współczynniku zbieżności 0,001) przyjmuje postać:

$$Q_u = 0,682 \cdot E_s + 880,76 \cdot m - 1,24 \cdot T_{ot} \quad R^2 = 0,97 \quad (3)$$

w zakresie: $60,3 < E_s < 124,9$ MJ; $15,1 < T_{ot} < 29,0$ °C

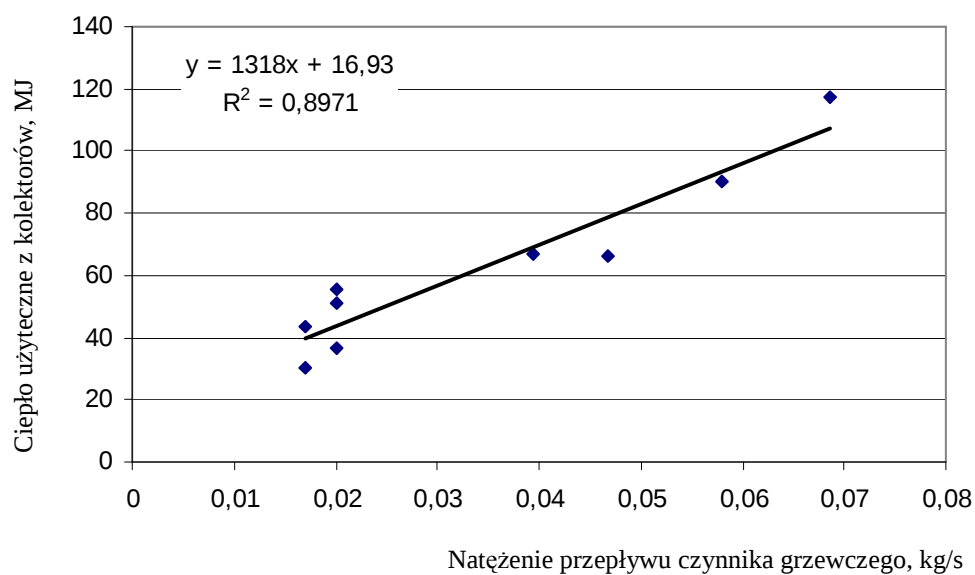
Wyliczone z modelu (3) wartości ciepła użytkowego porównano z ciepłem użytecznym otrzymanym w warunkach wykonywanego eksperymentu. Wynik porównania przedstawiono na rycinie 3. Współczynnik determinacji określający stopień w jakim dwie zmienne są „proporcjonalne” względem siebie osiągnął wartość 0,97. Oznacza to wysoką zbieżność wyników prezentowanej funkcji (3) z wartościami jakie uzyskano podczas eksperymentu. Ze względu na zakres stosowalności opracowany teoretyczny model może posłużyć do określenia ilości ciepła użytecznego z kolektorów dla warunków letnich. Dotyczy to zarówno dostępnej, w tym czasie, ilości energii promieniowania słonecznego, jak i zakresu temperatury otoczenia.

Ilość ciepła użytkowego z płaskich kolektorów cieczowych, jakie można uzyskać w danych warunkach solarnych, w znacznym stopniu zależy od natężenia przepływu czynnika przepływającego przez jego absorber. Świadczą o tym wyniki uzyskane podczas prowadzonego eksperymentu (rys. 4.). Czterokrotny przyrost masy przepływającego czynnika przez kolektor powodował około trzykrotne zwiększenie ilości ciepła użytkowego.



Ryc. 3. Porównanie między obliczoną z modelu i określoną ilością ciepła użytecznego w warunkach wykonywanego eksperymentu

Fig. 3. Comparison between the amount of heat calculated from the model and the amount of effective heat established in experimental conditions



Ryc. 4. Wpływ natężenia przepływu czynnika grzewczego na ilość ciepła użytecznego z kolektorów

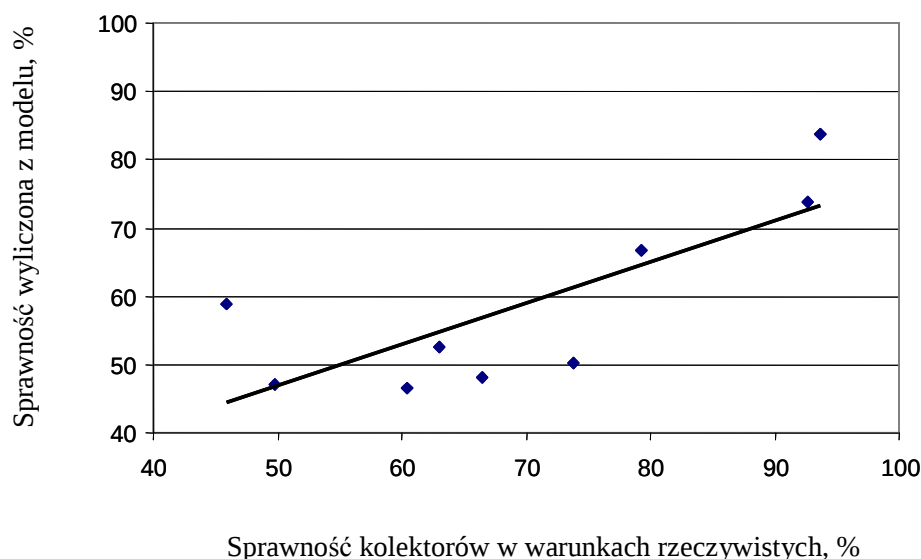
Fig. 4. Impact of heating medium flow intensity on the amount of effective heat from the collectors

Sprawność użytkowa kolektorów określona na podstawie zależności (2) zmieniała się w granicach od 46 do 92%. Wpływ na jej wartość miały głównie: dostępna energia z promieniowania słonecznego, jednostkowe natężenie przepływu czynnika grzewczego, ciepło użytkowego z kolektorów i temperatura powietrza otaczającego. Wyniki powyższych parametrów poddano analizie statystycznej. Spośród badanych zależności, największą wartość współczynnika determinacji uzyskano dla modelu regresji liniowej. Funkcja ta, którą określono podobnie jak w równaniu (3), przyjmuje postać:

$$\eta = -0,167 \cdot E_s + 359,14 \cdot m + 0,419 \cdot Q_u + 2,05 \cdot T_{ot} \quad R^2 = 0,66 \quad (4)$$

w zakresie: $60,3 < E_s < 124,9$ MJ; $29,0 < Q_u < 117,2$ MJ; $15,1 < T_{ot} < 29,0$ °C

Porównanie wartości sprawności użytkowej obliczonej i określonej na podstawie pomiarów przedstawiono na rysunku 5. Wyznaczanie sprawności użytkowej kolektorów na podstawie funkcji (4) w mniejszym stopniu odzwierciedla rzeczywistą sprawność. Wpływ na to mają różne warunki solarne wywołane zmiennym zachmurzeniem. W takich warunkach chwilowa sprawność kolektorów zmieniała się w dużym zakresie. Porównując dwa dni o podobnych warunkach solarnych i termicznych uzyskiwano różne wartości sprawności użytkowej kolektorów.



Ryc. 5. Porównanie teoretycznej i rzeczywistej sprawności użytkowej kolektorów
Fig. 5. Comparison of theoretical and actual effective efficiency of the collectors

Wnioski

1. Zmiany natężenia przepływu czynnika grzewczego w kolektorach mają największy wpływ na wartość ciepła użytkowego i ich sprawność.
2. Korzystając z modelu regresji i na podstawie znajomości wartości ciepła dostępnego z promieniowania słonecznego, natężenia przepływu czynnika grzewczego i temperatury otoczenia można dokładnie ($R^2=0,97$) określić ciepło użytkowe kolektorów.
3. Na podstawie wyznaczonej funkcji regresji liniowej poprawę sprawności użytkowej kolektorów można uzyskać zarówno zwiększając przepływ czynnika grzewczego jak i w wyższej temperaturze otoczenia.

Bibliografia

Kurpaska S. wraz z zespołem: Latała H., Michałek R., Rutkowski K. 2004. Funkcjonalność zintegrowanego systemu grzewczego w ogrzewanych tunelach foliowych. PTIR, Kraków, ss 118.

Pluta Z. 2000. Podstawy teoretyczne fototermicznej konwersji energii słonecznej. Polit. Warszawska.

Sołowiej P. 2005. Wpływ wybranych czynników na sprawność poliwęglanowego kolektora słonecznego. Inżynieria Rolnicza nr 1(61), 145-153.

EFFECTIVENESS OF SOLAR RADIATION CONVERSION IN A SOLAR COLLECTOR IN FUNCTION OF HEATING MEDIUM FLOW SPEED

Summary

An effect of solar energy transformation taking place in a flat liquid collector is the increase of the temperature of the medium flowing through the adsorber plate. The obtained effective energy stream depends not only on the solar radiation intensity, type of coating and adsorber surface but also on the unit flow intensity of the heat-

ing medium. The amount of the medium flowing through the adsorber of a collector of a given type is what mainly decides about the amount of absorbed heat, which is a decisive factor for the collector efficiency.

In the study, the impact of the speed of the medium flowing through the adsorber on the effective energy stream size is presented. During the experiment, the output of the pump forcing the movement of the medium was determined and the amount of the obtained heat was established. Next, by comparing the heat with the available solar energy the efficiency of the analysed heat exchanger was calculated. It results from the obtained and analysed data that the changes of the speed of the medium flowing through the collector have an impact on the effectiveness of solar energy conversion and the efficiency of the whole heat exchanger.

Key words: solar collectors, solar radiation, effective heat